

Gdynia, dnia 15.05.2019 r.

Prof. dr hab. inż. Józef Lisowski  
Katedra Automatyki Okrętowej  
Wydział Elektryczny  
Uniwersytet Morski  
ul. Morska 83  
81-225 Gdynia

## Recenzja

rozprawy doktorskiej *mgr inż. Tomasza MAKOWSKIEGO* pt.:

*„Hybrydowe wyrzutnie wielomodułowe – modelowanie, charakterystyki sterowania i analiza porównawcza”*

wykonana na podstawie uchwały Rady Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej z dnia 26 kwietnia 2019 roku.

### 1. Sformułowanie zagadnienia naukowego i tezy pracy

Problematyka recenzowanej rozprawy dotyczy jednego z wielu zadań badawczych z zakresu dyscypliny naukowej **elektrotechnika**, w specjalności **systemy mechatroniczne**, polegającego na syntezie re-konfigurowalnego modelu matematycznego wielomodułowej wyrzutni hybrydowej w oprogramowaniu LabVIEW, z zastosowaniem graficznej metody drzew i gałęzi sterowań do analizy jakości możliwych rodzajów pracy.

W ostatnich latach prace nad hybrydowymi wyrzutniami elektromagnetycznymi prowadzone przez: W.F. Weldon, T.G. Engel, M.A. Prelas, J. Domin, K. Kluszczyński, R. Kroczek i innych wykazały, że realizowane prace konstrukcyjne i technologiczne są skomplikowane i czasochłonne. Opracowanie przez Doktoranta ujęcia matematycznego działania wyrzutni, zawierającego usystematyzowane i uporządkowane zbiory charakterystyk sterowań, może pozwolić na szczegółowy opis działania wyrzutni w różnych stanach pracy i przy różnych sposobach sterowania, co przyczyni się do zwiększenia zakresu i jakości ich funkcjonowania w zastosowaniach militarnych, w systemach wspomagających start samolotów z lotniskowców, w badaniach przestrzeni kosmicznej, w akceleratorach energii i reaktorach termojądrowych. Natomiast, zastosowanie do modelowania elementów wyrzutni oprogramowania LabVIEW, pozwoliło na wykorzystanie jego dużych możliwości wizualizacji graficznej zarówno budowy, jak i działania wyrzutni.



I właśnie celem rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Makowskiego jest opracowanie rekonfigurowalnego modelu matematycznego wielomodułowej wyrzutni hybrydowej, pozwalającej na realizację szerokiego programu badań symulacyjnych.

Autor rozprawy za jej tezę przyjął, że możliwe jest zdefiniowanie, dla różnych konfiguracji hybrydowej wyrzutni wielomodułowej, rodzajów pracy oraz statycznych i dynamicznych charakterystyk, pozwalających na analizę różnych wariantów połączeń modułów napędowych. Rozprawa ma charakter pracy analityczno-projektowej, odpowiadającej ustawowo warunkom stawianym rozprawom doktorskim.

## **2. Ocena redakcji rozprawy**

Recenzowana rozprawa zawiera łącznie 165 stron tekstu, rysunków oraz tabel, składa się z wykazu oznaczeń, wstępu, dziesięciu zasadniczych rozdziałów, podsumowania i bibliografii. Bibliografia obejmuje 91 pozycji, w tym dwie, których Doktorant jest autorem i jednej współautorem. Najstarsza pozycja bibliografii pochodzi z 1963 roku, zaś najnowsza z 2018 roku.

Wykaz oznaczeń (4 strony, 2% rozprawy), obejmuje 69 oznaczeń różnych wielkości.

Wstęp (12 stron, 7% rozprawy), stanowiący pierwszy rozdział, zawiera ogólne przedstawienie problemu badawczego w kontekście zasady działania wyrzutni elektromagnetycznych, historii ich budowy i możliwych zastosowań wraz z przeglądem aktualnych problemów badawczych.

Rozdział drugi (3 strony, 2% rozprawy) potraktowano jako sformułowanie tezy pracy i siedmiu celów pracy.

Rozdział trzeci (6 stron, 4% rozprawy) zawiera opis struktury i elementów składowych trój-modułowej wyrzutni pneumatyczno-cewkowo-szynowej, jako reprezentatywnego przykładu hybrydowej wyrzutni wielomodułowej.

Rozdział czwarty (39 stron, 25% rozprawy) przedstawia opracowane przez Doktoranta modele symulacyjne w oprogramowaniu LabVIEW, dla poszczególnych modułów trój-modułowej hybrydowej wyrzutni pneumatyczno-cewkowo-szynowej.

W rozdziale piątym (10 stron, 6% rozprawy), stanowiącym, wspólnie z rozdziałem czwartym, zasadniczy rozdział rozprawy doktorskiej, przedstawiono kompleksowy, rekonfigurowalny model matematyczny hybrydowej wyrzutni pneumatyczno-cewkowo-szynowej, umożliwiający analizę wybranej jej konfiguracji.



Rozdział szósty (28 stron, 17% rozprawy) prezentuje zastępcze charakterystyki czasowe prędkości pocisku dla pojedynczych modułów oraz drzewa sterowań hybrydowymi wyrzutniami pneumatyczno-cewkowo-szynowymi.

W rozdziale siódmym (2 strony, 1% rozprawy) zdefiniowano pracę hybrydowej trój-modułowej wyrzutni pneumatyczno-cewkowo-szynowej w trybie nominalnym i zredukowanym.

Rozdział ósmy (23 strony, 14% rozprawy) przedstawia metodologię badania i analizy współdziałania modułów napędowych o różnych zasadach funkcjonowania, na przykładzie trój-modułowej hybrydowej wyrzutni pneumatyczno-cewkowo-szynowej.

W rozdziale dziewiątym (10 stron, 6% rozprawy) zaprezentowano analizę wpływu prędkości początkowej pocisku na pracę modułu cewkowego.

Rozdział dziesiąty (1 strona, 1% rozprawy) zawiera definicję pracy hybrydowej wyrzutni trój-modułowej pneumatyczno-cewkowo-szynowej w pracy zrównoważonej.

W rozdziale jedenastym (11 stron, 7% rozprawy) dokonano analizy porównawczej czterech konfiguracji hybrydowych wyrzutni wielomodułowych dla trzech rodzajów ich pracy.

W podsumowaniu rozprawy, stanowiącym rozdział dwunasty (3 strony, 2% rozprawy), oprócz krótkiego scharakteryzowania poszczególnych rozdziałów rozprawy, Doktorant przedstawił siedem zrealizowanych celów badawczych oraz określił trzy kierunki dalszych badań nad udoskonaleniem wyrzutni elektromagnetycznej.

Bibliografia stanowi ósmy rozdział rozprawy (8 stron, 5% rozprawy).

W rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł na poziomie literatury światowej i krajowej oraz stanu rozwoju technologii wyrzutni elektromagnetycznych, która świadczy o dobrej i ogólnej wiedzy Autora w podjętej tematyce badań naukowych.

Rozprawa od strony redakcyjnej i merytorycznej została przygotowana starannie, z nielicznymi uchybieniami redakcyjnymi, które przedstawię w uwagach szczegółowych. Treść rozprawy odpowiada tematowi określonemu w tytule, a objętość i następstwo rozdziałów są właściwe.

### **3. Ocena istotnych i oryginalnych elementów rozprawy**

Istotnymi elementami recenzowanej rozprawy, wnoszącymi nowe i szersze spojrzenie na zagadnienie analizy i projektowania wyrzutni elektromagnetycznych są:

- podjęcie udanej próby opracowania spójnego ujęcia teoretycznego działania wyrzutni wielomodułowych o strukturze hybrydowej,



- zdefiniowanie zbioru charakterystyk statycznych i dynamicznych opisujących w sposób wyczerpujący pracę hybrydowych wyrzutni wielomodułowych i możliwości ich sterowania,
- opracowanie podstaw matematycznych, dla tak zwanych drzew sterowań i gałęzi sterowań, hybrydowych wyrzutni wielomodułowych, pozwalających na uproszczony graficzny opis różnych rodzajów pracy wyrzutni,
- dokonanie analizy różnych rodzajów drzew oraz zaproponowanie ich klasyfikacji,
- zdefiniowanie rodzajów pracy hybrydowej wyrzutni wielomodułowej, pozwalających na ustalenie zakresu zmian wielkości sterujących, ujednoczenie opisu właściwości wyrzutni oraz umożliwienie porównywania różnych wariantów połączeń modułów,
- zbadanie i wyjaśnienie wpływu prędkości początkowej pocisku na pracę modułu cewkowego,
- przeprowadzenie analizy porównawczej różnych wariantów połączeń modułów ze względu na możliwość uzyskania maksymalnej prędkości pocisku przy uwzględnieniu różnych zakresów zmian wielkości sterujących.

Do oryginalnych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- opracowanie re-konfigurowalnego modelu matematycznego wielomodułowej wyrzutni hybrydowej w środowisku programistycznym LabVIEW, pozwalającego na realizację szerokiego programu badań symulacyjnych,
- synteza ujęcia matematycznego drzew sterowań pracą wyrzutni elektromagnetycznej,
- dokonanie spójnej i przejrzystej graficznej prezentacji szerokiej klasy charakterystyk statycznych i dynamicznych wyrzutni elektromagnetycznych, w postaci stopniowo rozwijanych okien programu LabVIEW.

Doktorant zaproponował własną metodę ujęcia matematycznego budowy i jakości działania wyrzutni elektromagnetycznych, co można uznać za autorski wkład do dyscypliny naukowej **elektrotechnika**, w specjalności **systemy mechatroniczne**. Wykazano skuteczność zaproponowanej metody analizy pracy wyrzutni elektromagnetycznej, na przykładzie czterech konfiguracji hybrydowych wyrzutni wielomodułowych i trzech rodzajów ich pracy.

#### 4. Uwagi szczegółowe

- strona 26, 2 wiersz od góry: zamiast „stolach” powinno być „stołach”;
- strona 38, 1 wiersz od dołu: zamiast „do 0,015” powinno być „do 0,016”;
- strona 60, 1 wiersz od dołu: zamiast „jedną całość” powinno być „całość”;



- strona 75, wiersze 9-13: brak numeracji wzorów;
- strona 106, wiersz 1 od dołu: zamiast „R=15,0%” powinno być „R=14,9”;
- brak cytowania w tekście rozprawy 23 i 71 pozycji bibliografii.

## 5. Uwagi dyskusyjne

W wyniku analizy recenzowanej rozprawy nasuwają się następujące uwagi dyskusyjne:

- 1) wśród przedstawionych siedmiu celów pracy, należałoby wyodrębnić cel główny i cele pomocnicze dla wykazania tezy rozprawy doktorskiej,
- 2) dla przeprowadzenia bezpośredniej weryfikacji pomiarowej uzyskanych wyników, konieczne jest uwzględnienie wpływu tarcia i oporu aerodynamicznego pocisku,
- 3) z punktu widzenia oceny sprawności wyrzutni elektromagnetycznej, wskazane byłoby przeprowadzenie analizy porównawczej poszczególnych konfiguracji wyrzutni, przy różnych rodzajach jej pracy,
- 4) czy w zakresie badań pomiarowych, interesującym zagadnieniem mogłaby być ocena możliwości korekcji prędkości pocisku w trakcie jego lotu.

## 6. Wnioski końcowe

Dokonując całościowej oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Makowskiego stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta zagadnienia naukowego w dyscyplinie naukowej **elektrotechnika**, w zakresie analizy i projektowania **systemów mechatronicznych**. Doktorant prawidłowo sformułował i udowodnił tezę badawczą, opanował teorię i praktykę w zakresie niezbędnym do rozwiązywania problemów naukowych oraz wykazał się umiejętnością samodzielnego myślenia, prowadzenia badań naukowych i korzystania z literatury przedmiotu.

Reasumując potwierdzam niewątpliwą przydatność rozprawy zarówno dla nauk technicznych, jak też praktyki projektowania różnych struktur systemów mechatronicznych. Zaprezentowane w pracy badania i wnioski z ich analizy, mają duże znaczenie dla wspomagania procesów projektowych, zwiększenia jakości praktycznej realizacji i obniżania ich kosztów.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w obowiązującej ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym i wnioskuję o przyjęcie jej przez Radę Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

